# Relex를 이용한 태양광 모니터링 시스템 하드웨어 고장률 연구

[1]안현식, [2]박지훈, [*3]김영철
[1]홍익대학교, ahn@selab.hongik.ac.kr
[2]홍익대학교, pjh@selab.hongik.ac.kr
[3]홍익대학교, bob@selab.hongik.ac.kr

# Failure Rate of Solar Monitoring System Hardware using Relex

[1]Hyun-sik An, [2]Ji-hoon Park, [*3]Young-chul Kim
[1]*Hongik University, ahn@selab.hongik.ac.kr*
[2]*Hongik University, pjh@selab.hongik.ac.kr*
[*3]*Hongik University, bob@selab.hongik.ac.kr*

## 요 약

하드웨어 산업에서의 예측 분석은 생산설비의 고장을 방지하기 위해 적절한 시점에 유지보수를 수행할 수 있고 관리비용을 절감할 수 있다. 이는 고장원인분석의 자동화를 통해 보다 효율적이고 과학적인 유지보수를 수행할 수 있도록 도와준다. 그중에서도 예측 관리는 정보 기술을 활용하여 설비 상태의 수집, 분석, 과학적 데이터 관리를 통해 예측 모델을 구성하며, 이를 바탕으로 이상상태를 파악하고 개선함으로써 이상상태가 발생하는 것을 사전에 예방하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 Relex 도구를 통해 결함트리(Fault Tree)를 만들고 하드웨어들의 에러코드를 분석하여 안전성을 연구했다.

## *Abstract*

*Predictive analysis in the hardware industry can be performed at an appropriate point in time to prevent failure of production facilities and reduce management costs. This helps to perform more efficient and scientific maintenance through automation of failure analysis. Among them, predictive management aims to prevent the occurrence of anomalous state by identifying and improving the abnormal state based on the gathering, analysis, and scientific data management of facilities using information technology and constructing prediction model do. In this study, we made a fault tree through the Relex tool and analyzed the error code of the hardware to study the safety.*

*Keywords: Solar Power Generation, Monitoring System, Fault Tree, Failure Prediction, Relex*

## 1. 서론

빠르게 대량의 데이터에서 적절한 시기에 효과적인 비용으로 인사이트(insights)를 추출할 수 있어야 하는 빅 데이터의 시대이다. 빅 데이터의 활용으로 많은 데이터가 축적되며

* Corresponding Author
Received: Aug. 17, 2018, Revised: Sept. 11, 2018, Accepted: Sept. 28, 2018

† 이 논문은 한국아이씨티플랫폼학회 2018년 하계학술대회에서 추천되었음

데이터의 폭증을 유발하고 있지만 실제로 기업에서는 lack of insight, inability to predict, inefficient access 와 같은 문제점이 발생한다. 이 3 가지 문제에서 알 수 있듯이 많은 데이터를 수집하는 기술력은 상당히 발전한 것에 비해, 데이터를 활용하는 부분에서는 발전이 미진하다. 하드웨어 산업에서의 생산설비의 고장을 방지하기 위해 예측 분석(Predictive Maintenance)을 이용함으로써 적절한 시점에 예방적 유지보수를 진행할 수 있게 되고 관리비용을 절감할 수 있다. 예측 관리는 최신의 설비 진단 및 정보 기술을 활용하여 설비 상태의 수집, 분석, 과학적 데이터 관리를 통해 예측 모델을 구성함으로써 생산설비의 문제점과 이상상태를 파악하고 개선함으로써 생산설비의 고장이 발생하는 것을 사전에 예방하는 것을 목적으로 한다[1]. 이러한 고장 원인 분석 및 예측 분석을 Relex 도구를 통해 결함트리(Fault Tree)를 통해 공통 고장원인을 식별하고 확률적으로 검토 분석하여 이의 안전성을 평가하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 태양광 모니터링 시스템과 Fault Tree Analysis, Relex 에 대해 언급한다. 3 장에서 Relex 를 이용한 고장률 연구사례를 설명한다. 마지막 4 장에서 결론 및 향후 연구를 언급한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 태양광 모니터링 시스템

그림 1 은 태양광 발전 모니터링 시스템의 전체 구성도이다. 태양광 발전 모니터링 시스템은 태양광 발전으로 생산한 전기를 ESS(Energy Storage System)에 저장하여 사용 또는 발전소로 보내는데 이 때 관측되는 온도, 전력의 양, 기울기 센서 등을 사용자의 모니터에 표시해 준다. 그림 1 과 같이 접속반에 연결되어 있는 여러 개의 태양전지들이 붙어있는 태양광 패널에서 생산된 전기가 인버터에 전달한다. 인버터에서는 전달받은 데이터들을 데이터화 한다. 이 때, 인버터의 종류마다 사용하는 포맷의 패킷이 달라 XMI 코드로 만들어 메타모델화 하여 생성된 데이터를 RS232, RS422/485 를 통해 로컬모니터링 서버에 전달한다. 여기서 의미하는 로컬 모니터링 서버란 태양광 발전 시스템이 설치된 지역에서 관리하는 모니터링 시스템을 의미한다. 모든 로컬 모니터링 서버의 데이터들은 통합 모니터링 서버에 저장되고 각 발전소 별로 모니터링을 할 수 있다. 본 연구에서는 빅 데이터 시스템을 통해 실시간 발전량, 센서데이터와 기존 발전량, 센서 데이터에서 에러코드를 분석하여 Fault Tree 를 제작하여 예측 연구를 진행하였다[2,3].

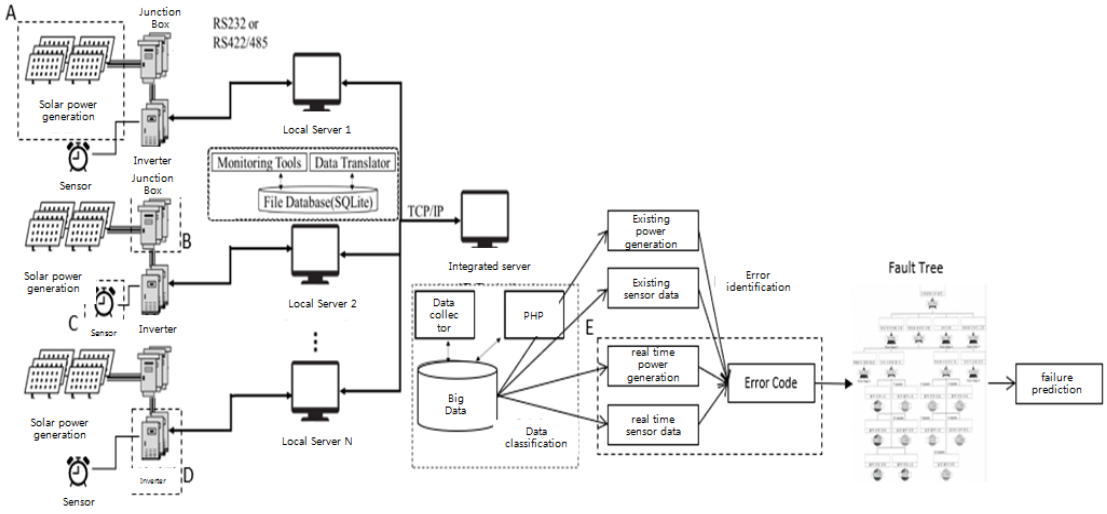


**Figure 1. Solar Power Monitoring System overall configuration diagram**

## 2.2 결함트리(Fault Tree)

결함트리(Fault Tree)는 하드웨어의 고장과 특정 이벤트 간의 상호 관계를 트리 형태로 표현한 것이다. 트리의 맨 하단부분에서 특정원인에 의해 이벤트가 시작됨을 보여주는 논리 다이어그램이다. 다음 그림 2 는 태양광 발전 모니터링 시스템에서 현재까지 특정 원인에 의해 발생하는 고장의 종류와 고장 발생 빈도수에 따른 발생 확률로 수치화하여 정리해 놓은 것이다.

| Event Renewable energy | Renewable energy | | 0.0525 |
|---|---|---|---|
| Gate OR | | | |
| Event Solar module failure | Solar module failure | | 0.001 |
| Event PV connection failure | PV connection failure | | 0.0525 |
| Gate OR | | | |
| Event Fault string occurs among multiple strings | Fault string occurs among multiple strings | | 0.0525 |
| Gate OR | | | |
| Event Power output degradation | Power output degradation | | 5.0E-4 |
| Event Power output = 0 | Power output = 0 | | 0.05 |
| Event Output current drop | Output current drop | | 1.0E-4 |
| Event Output current = 0 | Output current = 0 | | 0.05 |
| Event Output voltage drop | Output voltage drop | | 5.0E-4 |
| Event Output voltage = 0 | Output voltage = 0 | | 0.05 |
| Event Reverse current diode breakdown | Reverse current diode breakdown | | 0.0519 |
| Gate OR | | | |
| Event Increase internal temperature | Increase internal temperature | | 8.0E-4 |
| Event Output voltage rise | Output voltage rise | | 5.0E-4 |
| Event Output current rise | Output current rise | | 1.0E-4 |
| Event Power output degradation | Power output degradation | | 5.0E-4 |
| Event Power output = 0 | Power output = 0 | | 0.05 |
| Event Breaker forced off | Breaker forced off | | 0.0519 |
| Gate OR | | | |
| Event Increase internal temperature | Increase internal temperature | | 8.0E-4 |
| Event Output voltage rise | Output voltage rise | | 5.0E-4 |
| Event Output current rise | Output current rise | | 1.0E-4 |
| Event Power output degradation | Power output degradation | | 5.0E-4 |
| Event Power output = 0 | Power output = 0 | | 0.05 |
| Event PCB board deterioration occurred | PCB board deterioration occurred | | 0.0519 |
| Gate OR | | | |
| Event Increase internal temperature | Increase internal temperature | | 8.0E-4 |
| Event Output voltage rise | Output voltage rise | | 5.0E-4 |
| Event Output current rise | Output current rise | | 1.0E-4 |
| Event Power output degradation | Power output degradation | | 5.0E-4 |
| Event Power output = 0 | Power output = 0 | | 0.05 |
| Event Solar inverter failure | Solar inverter failure | | 0.0505 |
| Gate OR | | | |
| Event Sensor failure | Sensor failure | | 0.0501 |
| Gate OR | | | |
| Event Above data value | Above data value | | 1.0E-4 |
| Event Data value = 0 | Data value = 0 | | 0.05 |
| Event Communication error | | | 0.05 |

**Figure 2. List of fault diagnosis through Fault Tree Analysis**

.

그림 2 를 보면 태양 전지모듈 고장, 태양광 접속반 고장, 태양광 인버터 고장, 센서 고장 4 가지의 OR 게이트에서 각 에러 들로 이루어져 있다. 태양 전지 모듈 고장의 이벤트는 그림 1 의 A 에서 발생하고, 태양광 접속반 고장의 이벤트는 B 에서 발생한다. 센서고장의 이벤트는 C, 태양광 인버터 고장의 이벤트는 D 에서 발생한다. 각각의 이벤트들의 확률을 모두 더하면 게이트(오류코드)가 발생할 확률이 된다. 각각의 에러들의 고장 이유와 발생확률은 그림 2 에 설명되어 있다.

현재 태양광 모니터링 시스템은 18 개의 OR 게이트와 13 개의 이벤트를 갖는다. 기존 태양광 모니터링 시스템의 결함트리는 게이트와 이벤트의 개수가 적고, 종류가 다양하지 않기

때문에 계산하는데 큰 어려움은 없었다. 하지만 태양광 발전소 들이 더 추가되어 크고 복잡해진 시스템에서는 사람이 할 수 있는 계산 실수나 중복 이벤트 검출, 게이트의 다양화에 따른 복잡한 계산에 어려움을 가질 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 Relex Software 도구를 이용하여 결함트리를 생성하였다. Relax 를 이용하여 결함트리를 작성하면 각 에러 이벤트의 확률만 입력하여 모든 계산을 확실한 값으로 받을 수 있다

### 2.3 Relex

본 연구에서 사용한 도구인 Relex Software 는 전세계 RAMS 분석 관련 소프트웨어 시장의 90% 이상을 점유하고 있다. Relex Software 는 분석은 물론 고장 원인 분석과 사전 예방을 통한 PM 활동의 최적화 및 신뢰성 향상, 비용 및 운용인원 감소의 효과가 있다. Relex Software 의 특장점으로는 시스템의 신뢰도, 유지보수도 예측 및 시스템에 큰 지장을 줄 수 있는 고장모드를 평가한다. RAMS, LSA, ILS 분석 활동들을 하나의 통합 환경에서 구현하였고, 다양한 산업의 국제 표준에서 RAMS 분석 프로세스와 기술을 적용하여 사용이 가능하다. 실제로 국방, 항공, 자동차, 원자력, 항만 등 높은 신뢰도를 요구하는 사업에서 널리 쓰이고 있는 도구이다[4].

## 3. Main text

다음 표 1 은 그림 1 의 A, 태양 전지 모듈 고장의 원인이 되는 이벤트들을 분석한 것이다. 발전 출력 저하와 모듈 전압 저하가 발생하면 태양 전지 모듈 고장을 의심할 수 있고 발생 이벤트들은 모듈 다이오드 고장, 모듈 케이블 손상, 모듈 파손을 유발한다.

**Table 1. List of Solar Cell Module Fault Event**

| Error Code | Event | Probability of occurrence |
|---|---|---|
| Solar cell module failure | Power output decreasing | 0.0005 |
| | Module voltage decreasing | 0.0005 |

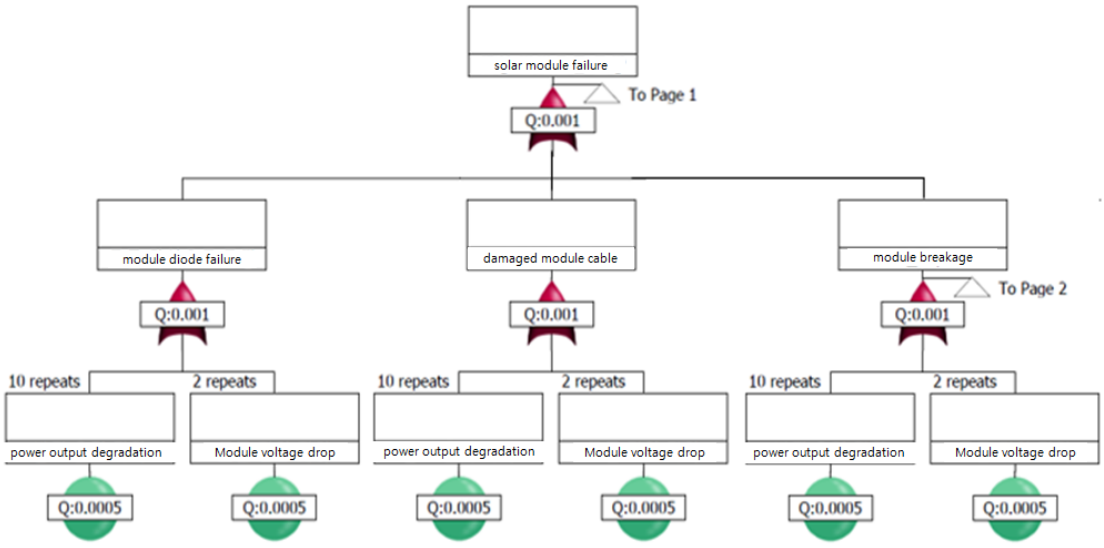


**Figure 3. Fault Tree of Solar Module Fault**

그림 3은 태양 전지 모듈 고장의 Fault Tree이다. 각각의 에러 이벤트들은 발생 확률을 가지고 있다. 그리고 OR 게이트들은 중복되지 않는 모든 에러 이벤트들의 합을 발생 확률로 갖는다.

**Table 2. List of PV connection failure events**

| Error Code | Event | Probability of occurrence |
|---|---|---|
| PV connection failure | Output current = 0 | 0.05 |
| | Output current drop | 0.0001 |
| | Output voltage drop | 0.0005 |
| | Power output = 0 | 0.05 |
| | Power output drop | 0.0005 |
| | Output voltage = 0 | 0.05 |
| | Output current rise | 0.0001 |
| | Output voltage rise | 0.0005 |
| | Internal temperature rise in connection panel | 0.0008 |

표 2는 그림 1의 B, 태양광 접속반 고장의 원인이 되는 이벤트들을 분석한 것이다. 다음 이벤트들이 발생하면 태양광 접속반에 문제가 생겼음을 예상할 수 있다. 또한 PCB 보드 열화 발생, 다수 스트링 중 고장 스트링 발생, 역전류 다이오드 파손, 차단기 강제 오프를 유발한다.

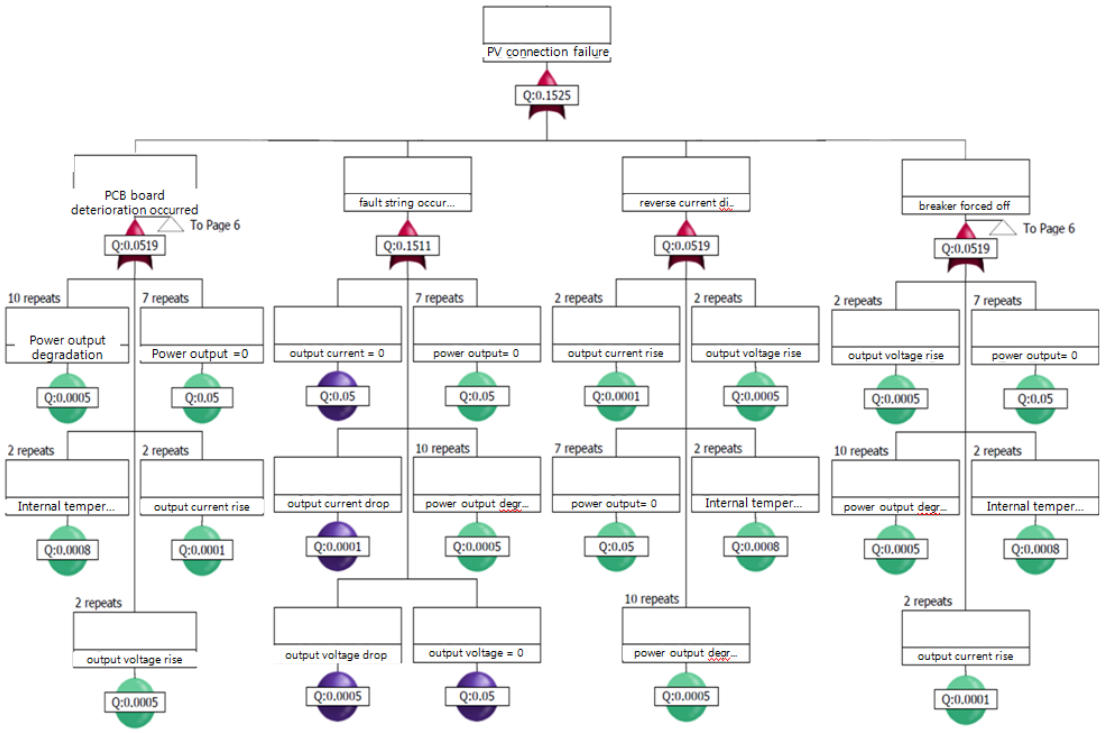


**Figure 4. Fault Tree of PV connection failure**

그림 4 는 태양광 접속반 고장의 Fault Tree 이다. 그림 3 과 마찬가지로 각각의 에러 이벤트들과 OR 게이트 들을 가지고 있다. 에러 이벤트가 보라색과 녹색으로 두 가지이다. 보라색 에러 이벤트는 전체에서 그 곳에서만 발생할 수 있는 에러 이벤트이다. 녹색 에러 이벤트는 다른 곳에서도 발생할 수 있는 에러 이벤트이다.

**Table 3. List of Sensor fault event**

| Error Code | Event | Probability of occurrence |
|---|---|---|
| Sensor failure | Current weather != Temperature | 0.0001 |
| | Current weather != Radiation | 0.0001 |
| | Data value = 0 | 0.0001 |

표 3 은 그림 1 의 C, 센서고장의 원인이 되는 이벤트들을 분석한 것이다. 현재 날씨에 해당하는 온도와 현재 센서에서 측정되는 온도가 같지 않거나 현재 날씨에 해당하는 일사량과 측정되고 있는 일사량이 같지 않으면 데이터 값 이상을 의심할 수 있고, 데이터 값이 0 일경우 통신에 오류가 있거나 센서고장을 유발한다.

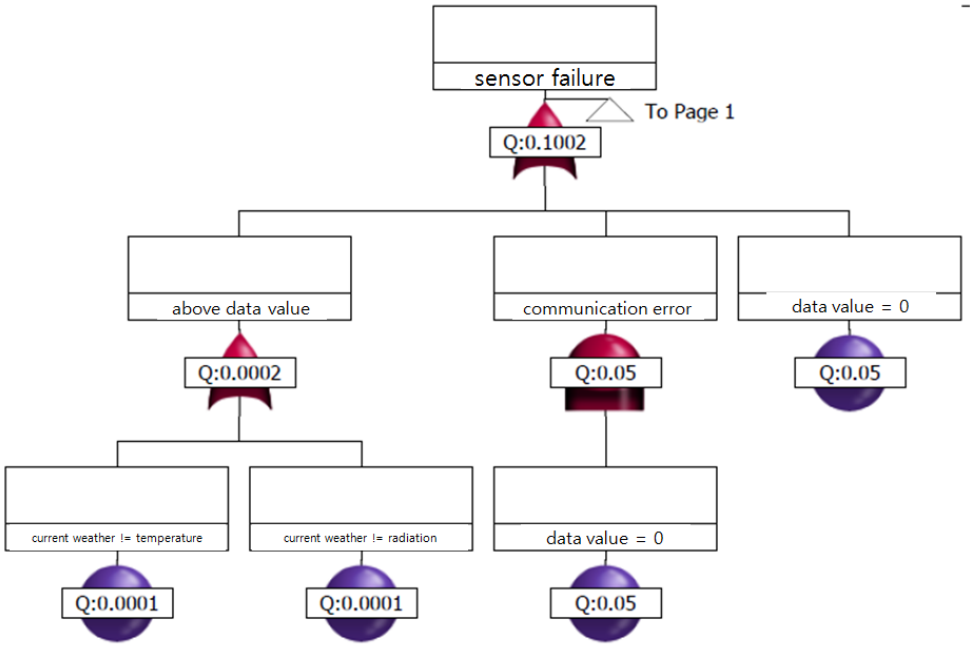


**Figure 5. Fault Tree of Sensor Fault**

다음 그림 5 는 센서고장의 Fault Tree 이다. 마찬가지로 OR 게이트와 에러 이벤트들로 이루어져 있다. 그 중에 통신 오류는 AND 게이트로 설정 되어 있다. OR 게이트는 에러이벤트들의 확률 합이지만 AND 게이트는 에러 이벤트들의 확률 곱이므로 발생 확률이 더 낮은 에러라고 볼 수 있다.

**Table 4 List of Solar Inverter Fault Event**

| Error Code | Event | Probability of occurrence |
|---|---|---|
| Solar inverter failure | Power output = 0 | 0.05 |
| | Power output drop | 0.0005 |

다음 표 4 는 그림 1 의 D, 태양광 인버터 고장의 원인이 되는 이벤트들을 분석한 것이다. 발전 출력 값이 0 이거나 발전 출력이 저하되면 태양광 인버터 고장을 의심할 수 있다. 이 이벤트들은 계통차단기 오프, 인버터 LCD 에 표시 없음 전력변환 제어 이상, 내부 스위치소자 이상을 유발할 수 있다.

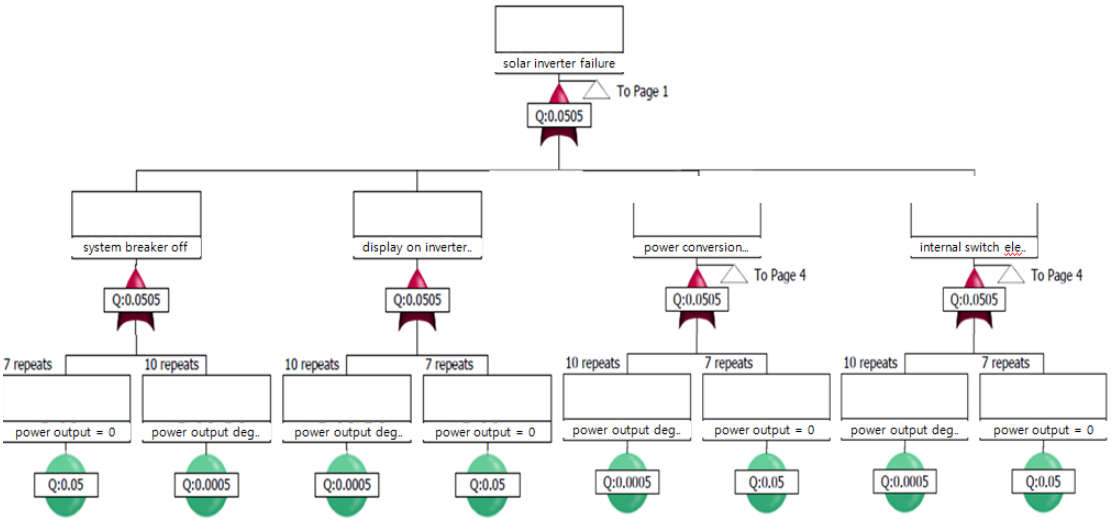


**Figure 6 Fault Tree of Solar Inverter Fault**

다음 그림 6 은 태양광 인버터 고장의 Fault Tree 이다. 마찬가지로 OR 게이트와 에러 이벤트들로 이루어져 있다. 에러 이벤트가 발전 출력=0, 발전 출력 저하 2 가지뿐이므로 모든 OR 게이트의 발생 확률이 같다.

이벤트가 발생할 확률은 통합 모니터링 서버에 축적된 데이터들을 기반으로 통계를 내어 정의한 값이다. 이벤트들의 확률을 모두 더하면 게이트가 발생할 확률이 된다. 상위 게이트는 하위 이벤트들 중 중복된 이벤트는 한번씩만 더하고 나머지 중복되지 않은 이벤트 확률을 모두 더하면 발생할 확률이 계산된다. 이런 방식으로 각각의 게이트들이 발생할 확률을 구하는 계산법을 다음 식으로 표현했다.

$$X_G = \sum_{i=0}^{n} x_i \quad (\text{단}, x_i \in (A \cup B))$$

## 4. 결론

본 연구에서 Fault Tree 를 통해 고장 예측을 진행하였다. Fault Tree 를 사용함으로써 예측모델과 실측량과의 비교를 통해 공통 고장원인을 식별할 수 있다. 또한 고장의 원인이 되는 이벤트와 Error Code 들을 가시화하고 고장이 났을 때 이벤트를 확인하면 빠르게 고장의 원인을 파악할 수 있게 된다.

이렇게 실시간 고장 원인 파악과 예방적 유지보수를 진행하여 관리비용을 절감할 수 있고 태양광 발전 시스템의 부품들이 고장 나더라도 즉각적인 보수가 이루어짐으로써 효율적인 발전이 가능하다.

## 5. 감사의 글

이 논문은 2015 년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(NRF-2015H1C1A1035548)과 2017 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2017R1D1A3B03035421)과 2018 년도 정보통신산업진흥원의 정보통신, 방송 연구개발사업(개방형 OS 환경개발 및 보급, 확산 사업)의 지원을 받아 수행된 연구임(S1113-18-1001).

## 6. 참고문헌

[1] Jung Sung Won, Predictive Analytics for Scientific Manufacturing Industry, http://image.bikorea.net/biworld2013/images/2013_BI_Conference/05_Track1-1_2013_BI_Conference_SPSS.pdf
[2] Hyun Seung Son, R. Young Chul kim, "Modeling a Photovoltaic Monitoring System based on Maintenance perspective for New & Renewable Energy", The Institute of Internet, Broadcasting and Communication 2016, AACL 07, pp.144-147, 2016.
[3] Son Hyun Seung and Kim Young Chul, “Automatic Tree Model Generation in Metamodel for Model Conversion of Heterogeneous Photovoltaic Systems”, Korea Smart Media Society & The Korea Electronics Institute, Vol.5 No.2 pp295-298, 2016.
[4] J. Paulus, A. Klapuri, “Music structure analysis using a probabilistic fitness measure and a greedy search algorithm,” *IEEE Trans. Audio, Speech, Language Process.*, Vol. 17, No. 1, pp. 1159–1170, Aug. 2009.
[5] Relex, http://www.moasoftware.co.kr/product/relex.asp